

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 814 636 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
29.12.1997 Patentblatt 1997/52

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: H04R 25/00

(21) Anmeldenummer: 96110069.0

(22) Anmeldetag: 21.06.1996

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT CH DE DK LI

(72) Erfinder:  
Weinfurtner, Oliver, Dipl.-Ing.  
91058 Erlangen (DE)

(71) Anmelder:  
Siemens Audiologische Technik GmbH  
91058 Erlangen (DE)

(74) Vertreter:  
Fuchs, Franz-Josef, Dr.-Ing. et al  
Postfach 22 13 17  
80503 München (DE)

## (54) Hörgerät

(57) Ein Hörgerät mit einem Eingangswandler (12), einer Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10), einem Ausgangswandler (14) und einer nach dem Prinzip einer neuronalen Struktur arbeitenden Berechnungseinrichtung (20), die auf ein an der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) abgegriffenes Abgriffssignal (22) anspricht und ein Ergebnissignal (26) liefert, das der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) zugeführt wird und ein von dieser abgege-

benes Ausgabesignal (28) beeinflusst, wird dadurch weitergebildet, daß zumindest die Berechnungseinrichtung (20) in digitaler Schaltungstechnik ausgeführt ist. Ein derartiges Hörgerät läßt sich mit geringem Entwicklungs- und Schaltungsaufwand herstellen, arbeitet zuverlässig und ermöglicht eine optimale Anpassung an die spezifischen Bedürfnisse des Hörgeräteträgers.

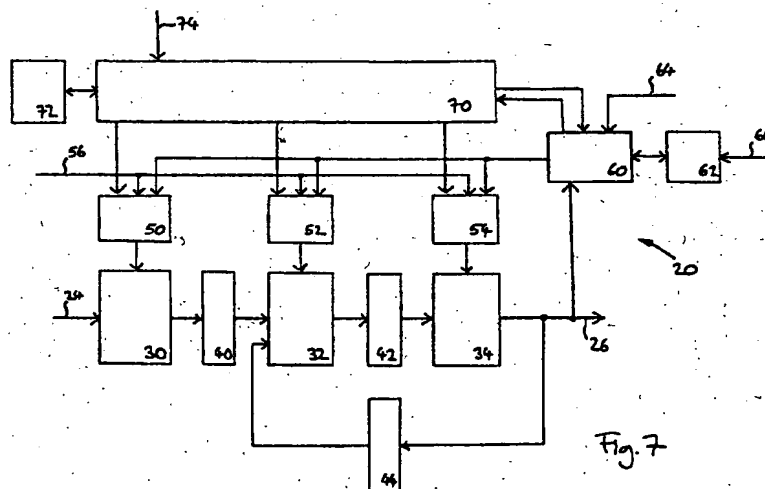


Fig. 7

EP 0 814 636 A1

1

EP 0 814 636 A1

2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Hörgerät nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Unter einem "Signal" soll hier der Verlauf einer oder mehrerer physikalischer Größen an einem oder mehreren Meßpunkten über die Zeit verstanden werden; jedes Signal kann also aus einem Bündel von Einzelsignalen bestehen.

Aus der EP-A-0 712 263 ist ein derartiges Hörgerät bekannt, bei dem eine neuronale Struktur eingesetzt wird, um entweder die Signalübertragungscharakteristik einer Verstärker- und Übertragungseinrichtung zu verändern oder einen Satz von die Signalübertragungscharakteristik beeinflussenden Parametern aus einem Parameterspeicher auszuwählen.

Die EP-A-0 712 261 offenbart ein ähnliches Hörgerät, bei dem jedoch der Signalpfad über die neuronale Struktur geführt ist, so daß die von wenigstens einem Mikrofon zu einem Hörer übertragenen Signale von der neuronalen Struktur unmittelbar bearbeitet werden können.

In der EP-A-0 712 262 ist ein Hörgerät gezeigt, bei dem einer automatischen Verstärkungsregelschaltung (automatic gain control - AGC) ein Regler nach dem Prinzip einer neuronalen Struktur zugeordnet ist.

Bei den in diesen Offenlegungsschriften beschriebenen Hörgeräten ist jedoch nur vorgesehen, die neuronale Struktur in analoger Schaltungstechnik zu realisieren. Daraus ergibt sich das Problem eines hohen schaltungstechnischen Aufwandes, der insbesondere wegen der bei Hörgeräten erforderlichen Miniaturisierung nachteilig ins Gewicht fällt.

Die Erfindung hat demgemäß die Aufgabe, das genannte Problem zu lösen. Insbesondere soll durch die Erfindung ein Hörgerät bereitgestellt werden, das sich mit geringem Entwicklungs- und Schaltungsaufwand herstellen läßt und dabei eine optimale Anpassung an die spezifischen Erfordernisse des Hörgeräteträgers ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß bei einem Hörgerät der eingangs genannten Art zumindest die Berechnungseinrichtung in digitaler Schaltungstechnik ausgeführt ist.

Eine digitale Realisierung einer Berechnungseinrichtung, die nach dem Prinzip einer neuronalen Struktur arbeitet, bietet ein hohes Maß an Kompatibilität mit der digitalen Signalverarbeitung: Eine zusätzliche Umsetzung (Analog/Digital oder Digital/Analog) ist nicht erforderlich, und die Berechnungseinrichtung kann ganz oder teilweise mit den gleichen Komponenten realisiert werden wie die übrige Verarbeitung der Signale. Daraus ergibt sich eine leichte Kombinierbarkeit der Berechnungseinrichtung mit herkömmlichen digitalen Daten- und Signalverarbeitungsfunktionen, wie sie z.B. in Mikroprozessoren oder Signalprozessoren üblich sind. Überdies bietet die Digitaltechnik Vorzüge wie erhöhte Störsicherheit und Unempfindlichkeit gegen Fertigungstoleranzen. Die kontrollierte Anpassung

(Training) von Konfigurationsparametern der Berechnungseinrichtung während des laufenden Betriebs des Hörgerätes wird durch die digitale Realisierung erleichtert oder sogar erst ermöglicht.

Die Berechnungseinrichtung ist bevorzugt mit üblichen digitalen Bauelementen wie Gattern, Flip-Flops, Speichern etc. gebildet; allgemeiner mit Schaltnetzen und Schaltwerken. Sie kann insbesondere als ASIC (application specific integrated circuit - anwendungsspezifische integrierte Schaltung) ausgestaltet sein. Alternativ ist es möglich, die Berechnungseinrichtung als Mikroprozessor oder Mikrocontroller mit einem zugehörigen Programm auszubilden, das in einem Festwertspeicher (ROM; insbesondere maskenprogrammiertes ROM, PROM, EPROM oder EEPROM) oder einem Schreib-Lese-Speicher (RAM) gespeichert ist. Auch Mischformen sind möglich; beispielsweise können spezifische festverdrahtete Module mit einer programmierten Steuerung verbunden sein. Dies ist insbesondere für Funktionen sinnvoll, die häufig ausgeführt werden und sich relativ einfach digital realisieren lassen.

Bevorzugt wird bei dem erfindungsgemäßen Hörgerät die Berechnungseinrichtung für die direkte Signalverarbeitung und/oder für die Steuerung von Signalverarbeitungsfunktionen und/oder für die automatische Auswahl von Hörprogrammen im Hörgerät eingesetzt.

Die Berechnungseinrichtung weist vorzugsweise Mittel auf, durch die Konfigurationsparameter derart beeinflussbar sind, daß dies einem Training der von der Berechnungseinrichtung nachgebildeten neuronalen Struktur gleichkommt. Das Training kann vorzugsweise während des laufenden Betriebs des Hörgerätes erfolgen. Damit ist eine besonders genaue Anpassung an die spezifischen Bedürfnisse des Hörgeräteträgers möglich.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen sind in den übrigen Unteransprüchen definiert.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nun unter Hinweis auf die Zeichnungen genauer beschrieben. Es stellen dar:

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Hörgerätes,

Fig. 2 eine konzeptuelle Darstellung eines einzelnen Neurons,

Fig. 3a, 3b und 3c Beispiele für mögliche Schwellenwertverläufe der in Fig. 2 gezeigten Ausgabefunktion W,

Fig. 4 bis Fig. 6 konzeptuelle Darstellungen dreier neuronaler Netze,

Fig. 7 ein Blockschaltbild einer Berechnungseinrichtung eines erfindungsgemäßen Hörgerätes,

3

EP 0 814 636 A1

4

Fig. 8 ein Blockschaltbild einer ersten Ausführungsalternative der in Fig. 7 gezeigten Berechnungseinrichtung,

Fig. 9 ein Blockschaltbild einer zweiten Ausführungsalternative der in Fig. 7 gezeigten Berechnungseinrichtung, und

Fig. 10 ein Flußdiagramm eines Algorithmus zum Trainieren der Funktion der neuronalen Struktur in der Berechnungseinrichtung.

Bei dem in Fig. 1 schematisch dargestellten Hörgerät setzt ein als Eingangswandler 12 wirkendes Mikrofon ein Schallsignal in ein elektrisches Signal um und leitet dieses an eine Verstärker- und Übertragungsschaltung 10 weiter. Die Verstärker- und Übertragungsschaltung 10 verstärkt das eingehende Signal und verarbeitet es, beispielsweise durch selektives Anheben oder Abschwächen bestimmter Frequenz- oder Lautstärkenbereiche. Das so verarbeitete Ausgabesignal 28 wird von einem als Ausgangswandler 14 dienenden Hörer ausgegeben.

An mindestens einer geeigneten Stelle der Verstärker- und Übertragungsschaltung 10 wird ein Abgriffssignal 22 aus dem Signalpfad des Hörgerätes abgegriffen und einer Signalaufbereitungseinrichtung 16 zugeführt. Das Abgriffssignal 22 kann ferner Einzelsignale aufweisen, die von weiteren Eingangswandlern, von Bedienungselementen oder von Sensoren zur Überwachung von Systemeigenschaften (beispielsweise der Batteriespannung) stammen.

Die Signalaufbereitungseinrichtung 16 bereitet das Abgriffssignal 22 geeignet auf, beispielsweise durch Gleichrichtung, Mittelwertbildung oder Ableitung nach der Zeit, um es einer Berechnungseinrichtung 20, die die Funktion einer neuronalen Struktur übernimmt, als Eingabesignal 24 zuzuführen. Hinsichtlich der Ausgestaltung der Signalaufbereitungseinrichtung 16 sowie hinsichtlich der Einzelsignale, aus denen sich das Abgriffssignal 22 zusammensetzt, wird der Inhalt der EP-A-0 712 263 hiermit in die vorliegende Beschreibung aufgenommen.

Die Berechnungseinrichtung 20 weist einen Speicher 18 auf, der Zwischenergebnisse, Gewichtungsfaktoren der durch die Berechnungseinrichtung 20 realisierten neuronalen Struktur und/oder Parameter speichert, die die Vernetzungsstruktur der neuronalen Struktur bestimmen. Die Berechnungseinrichtung 20 verarbeitet das ihr zugeführte Eingabesignal 24 auf die unten genauer beschriebene Weise nach dem Prinzip eines neuronalen Netzes und gibt das Ergebnis als Ergebnissignal 26 an die Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 ab, deren Verstärkungs- und Übertragungseigenschaften durch das als Steuersignal wirkende Ergebnissignal 26 in weiten Grenzen veränderbar sind.

In einer Ausführungsform der Erfindung ist lediglich

die Berechnungseinrichtung 20 digital ausgeführt, während die anderen Baugruppen, bis auf gegebenenfalls erforderliche Analog-Digital- und Digital-Analog-Wandler, als analoge Schaltungen gebildet sind. In einer Ausführungsalternative sind jedoch die Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10, die Signalaufbereitungseinrichtung 16 und die Berechnungseinrichtung 20 im wesentlichen digital ausgeführt, und das Abgriffssignal 22, das Eingabesignal 24 und das Ergebnissignal 26 sind digitale Signale, die bevorzugt als aufeinanderfolgende Binärzahlen auf mehreren Leitungen parallel übertragen werden. In dieser Ausführungsalternative weist lediglich die Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 einen Analog-Digital-Wandler für das vom Eingangswandler 12 stammende Signal und einen Digital-Analog-Wandler auf, der das an den Ausgangswandler 14 geleitete Ausgabesignal 28 erzeugt.

In der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hörgerätes steuert das Ergebnissignal 26 die Übertragungscharakteristik der Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 unmittelbar, indem durch die Einzelsignale des Ergebnissignals 26 einzelne Parameter der Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10, beispielsweise die Verstärkung bestimmter Frequenzbänder oder Ansprech- und Abfallzeiten einer automatischen Verstärkungsregelung (automatic gain control - AGC), eingestellt werden.

In einer Ausführungsalternative weist die Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 einen Speicher auf, der mehrere voreingestellte oder einprogrammierte Parametersätze enthält. Ein Parametersatz dieses Speichers wird, basierend auf dem Ergebnissignal 26, ausgewählt, beispielsweise dadurch, daß das digitale Ergebnissignal 26 als Speicheradresse dient.

In einer weiteren Ausführungsalternative weist die Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 keinen unmittelbaren Signalpfad vom Eingangswandler 12 zum Ausgangswandler 14 auf. Der Signalpfad verläuft vielmehr von dem Eingangswandler 12 über einen ersten Teil der Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 zur Signalaufbereitungseinrichtung 16, von dort zur Berechnungseinrichtung 20, von dort als Ergebnissignal 26 zu einem zweiten Teil der Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 und von dort als Ausgabesignal 28 zum Ausgangswandler 14. Im zweiten Teil der Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 wird das digitale Ergebnissignal 26 lediglich in ein analoges Signal umgewandelt und gegebenenfalls gefiltert.

Die im folgenden kurz zusammengefaßten Grundsätze neuronaler Strukturen sind bereits in der europäischen Patentanmeldung EP-A-0 712 263 ausführlicher dargestellt, deren diesbezüglicher Inhalt hiermit in die vorliegende Beschreibung aufgenommen wird.

Neuronale Strukturen bestehen aus vielen gleichartigen Elementen, die Neuronen genannt werden. Das Blockschaltbild eines einzelnen derartigen Neurons N ist in Fig. 2 gezeigt. Das Neuron N erzeugt ein Ausgangssignal  $a_i(t+\Delta t)$  zum Zeitpunkt  $t+\Delta t$  aus mehreren

5

EP 0 814 636 A1

6

Eingangssignalen  $e_i(t)$  zum Zeitpunkt  $t$ . Die Funktion des Neurons  $N$  läßt sich in die folgenden drei Grundfunktionen zerlegen:

- Propagierungsfunktion  $U$ :  $u(t) = \sum e_i(t) \cdot g_i$   
Die Ausgangsgröße dieser Funktion ist die Summe aller mit je einem zugeordneten Gewichtungsfaktor  $g_i$  multiplizierten Eingangssignale  $e_i$ .
- Aktivierungsfunktion  $V$ :  $v(t+\Delta t) = f(v(t), u(t))$   
Die Aktivierungsfunktion bestimmt den neuen Aktivierungszustand  $v(t+\Delta t)$  in Abhängigkeit vom aktuellen Aktivierungszustand  $v(t)$  und von  $u(t)$ .
- Ausgangsfunktion  $W$ :  $w(t)$   
Die Ausgangsfunktion nimmt meist eine Schwellenbildung vor. Gebräuchlich sind dabei:
  - Sprungfunktion mit Begrenzung auf einen minimalen und einen maximalen Ausgangswert; dargestellt in Fig. 3a.
  - Stetiger Verlauf der Ausgangsgröße mit Begrenzung auf einen minimalen und einen maximalen Ausgangswert. In Fig. 3b ist das Sigmoid  $w(t) = 1/(1+e^{-(v(t)-s)})$  dargestellt, und in Fig. 3c ein linearer Verlauf im Übergangsbereich.

Statt einer Schwellwertbildung bietet sich in der Ausgangsschicht einer neuronalen Struktur oftmals eine lineare Ausgangsfunktion  $W$  an. Dies erlaubt die Erzeugung von kontinuierlichen Ausgangswerten durch die neuronale Struktur.

Als Beispiele für die Verschaltung der Neuronen 30 zeigen Fig. 4 ein einlagiges, rückgekoppeltes Netz mit drei Neuronen  $N$ , Fig. 5 ein mehrlagiges, rückkopplungsfreies Netz mit elf Neuronen  $N$  in drei Lagen und Fig. 6 ein mehrlagiges, rückkopplungsfreies Netz mit neun Neuronen  $N$  in drei Lagen, jeweils in einer typischen Verschaltung. Die verwendete Netzstruktur richtet sich nach der zu implementierenden Funktion. Auch Mischformen aus mehreren Netzstrukturen sind möglich. Bei der erfindungsgemäßen digitalen Realisierung der Berechnungseinrichtung 20 dienen die in Fig. 4 bis Fig. 6 gezeigten neuronalen Netzstrukturen lediglich zur konzeptuellen Darstellung, weil bei der tatsächlichen Implementierung der Berechnungseinrichtung 20 vorzugsweise die Funktionen mehrerer Neuronen  $N$  (beispielsweise aller Neuronen  $N$  einer Schicht oder sogar aller Neuronen  $N$  eines Netzes) von einem einzigen Berechnungsmodul der Berechnungseinrichtung 20 übernommen werden.

In Fig. 7 ist eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Berechnungseinrichtung 20 gezeigt, welche die beschriebenen Funktionen einer neuronalen Struktur ausführt. Jeder Schicht von Neuronen nach Fig. 4 bis Fig. 6 entspricht eines von drei Berechnungs-

modulen 30, 32 und 34. Das erste Berechnungsmodul 30 erhält über das Eingangssignal 24 die Eingangswerte der neuronalen Struktur; das dritte Berechnungsmodul 34 gibt die berechneten Ergebniswerte als Ergebnissignal 26 aus. Zwischen den Berechnungsmodulen 30, 32 und 34 sind Zwischenspeicher 40 und 42 angeordnet, über die Zwischenergebnisse von einem zum nächsten Berechnungsmodul 30, 32 und 34 weitergeleitet werden. Ergebnisse des dritten Berechnungsmoduls 34 werden über einen Rückkopplungs-Zwischenspeicher 44 zum Eingang des zweiten Berechnungsmoduls 32 rückgekoppelt, wenn dies die der Berechnungseinrichtung 20 zugrundeliegende neuronale Struktur vorsieht.

Jedem der Berechnungsmodule 30, 32 und 34 ist je ein Parameterspeicher 50, 52 bzw. 54 zugeordnet, in welchem interne Zwischenergebnisse der Berechnungsmodule 30, 32 bzw. 34 abgelegt werden können und welcher Konfigurationsparameter für die von dem zugeordneten Berechnungsmodul 30, 32 bzw. 34 realisierte Teilfunktion enthält. Insbesondere sind dies die Gewichtungsfaktoren  $g_i$  der Neuronen  $N$  und die Kenngrößen oder Kennlinien für die weitere Signalverarbeitung in den Neuronen  $N$ . Auch ist es möglich, die Vernetzungsstruktur des durch das Berechnungsmodul 30, 32 bzw. 34 realisierten Ausschnitts der neuronalen Struktur über modifizierbare Konfigurationsparameter zu beschreiben. Zur Konfiguration der neuronalen Struktur sind die Parameterspeicher 50, 52 bzw. 54 über einen Parametereingang 56 mit externen Konfigurationsparametern beschreibbar.

Ein Parameter-Anpaßmodul 60 ist mit dem Ergebnissignal 26 sowie mit den Parameterspeichern 50, 52 und 54 verbunden. Ein Arbeitsspeicher 62, der über einen externen Eingang 66 beschreibbar ist, ist dem Parameter-Anpaßmodul 60 zugeordnet.

Das Parameter-Anpaßmodul 60 beinhaltet die eigentliche Lernfunktion der neuronalen Struktur. Es ermittelt, beispielsweise nach dem unten beschriebenen Algorithmus, adaptierte Konfigurationsparameter und schreibt diese in die Parameterspeicher 50, 52 und 54 ein. Der Lernvorgang kann während des laufenden Betriebs des Hörgerätes erfolgen, oder nur während einer anfänglichen Anpaß- und Optimierungsphase, oder auch nur bei der Entwicklung des Hörgerätes durch den Hersteller. In den beiden letztgenannten Fällen kann beim vom Endbenutzer schließlich getragenen Hörgerät das Parameter-Anpaßmodul 60 entfallen oder deaktiviert sein. Die ermittelten Konfigurationsparameter werden dann fest im Hörgerät gespeichert; beispielsweise über den Parametereingang 56 in die als EEPROMs ausgestalteten Parameterspeicher 50, 52 und 54 einprogrammiert.

Grundsätzlich werden zwei Arten des Lernens unterschieden, und zwar das nicht-überwachte Lernen und das überwachte Lernen. Das nicht-überwachte Lernen geschieht nur unter Auswertung des Ergebnissignals 26 der durch die Berechnungseinrichtung 20 realisierten neuronalen Struktur nach einer vorbe-

stimmten Metrik. Beispielsweise kann die neuronale Struktur daraufhin trainiert werden, für unterschiedliche Hörsituationen möglichst weit auseinanderliegende Ergebnissignale 26 zu erzeugen, um die Hörsituationen voneinander zu trennen.

Beim überwachten Lernen wertet das Parameter-Anpaßmodul 60 neben dem Ergebnissignal 26 zusätzlich eine gewünschte Zielantwort, welche über einen Zielantwort-Eingang 64 direkt an das Parameter-Anpaßmodul 60 angelegt wird, und Steuersignale des Steuermoduls 70 aus. Diese Auswertung erfolgt beispielsweise nach dem unten beschriebenen Algorithmus. Die gewünschten Zielantworten werden während des Lernvorganges ermittelt. Sie können beispielsweise während einer anfänglichen Optimierungsphase vom Hörgerätebenutzer über eine externe Zusatzeinrichtung eingegeben werden. Bevorzugt wählt der Hörgerätebenutzer dabei aus mehreren vorgegebenen Versuchs-Zielantworten, die über eine geeignete Schalteinrichtung der Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 jeweils unmittelbar statt des Ergebnissignals 26 zugeführt werden, die von ihm als optimal empfundene gewünschte Zielantwort aus.

Die vorgegebenen möglichen Zielantworten sind vorzugsweise nach Hörsituationen gruppiert, so daß der Benutzer zunächst die aktuelle Hörsituation ("im Auto", "am Arbeitsplatz" etc.) angibt und dann die Wahl zwischen beispielsweise vier Versuchs-Zielantworten hat, die für diese Hörsituation vom Hörgeräteakustiker vorgegeben worden sind. Das der Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 zugeführte Steuersignal bestimmt sich zu Anfang der Optimierungsphase ausschließlich aus der vom Benutzer gewählten gewünschten Zielantwort. Mit zunehmendem Trainingserfolg wird das von der Berechnungseinrichtung 20 erzeugte Ergebnissignal 26 immer mehr zugemischt, bis schließlich, nach Abschluß der Trainingsphase, die Verstärker- und Übertragungseinrichtung 10 ausschließlich durch die Berechnungseinrichtung 20 gesteuert wird.

Ein Steuermodul 70 der Berechnungseinrichtung 20 koordiniert den Gesamttablauf und die Zusammenarbeit der Berechnungsmodule 30, 32 und 34. Beispielsweise kann die Bearbeitungszeit in den Berechnungsmodulen 30, 32 und 34 je nach der Komplexität und Menge der auszuführenden Berechnungen unterschiedlich sein. Aufgabe des Steuermoduls 70 ist es dann, jedem Berechnungsmodul 30, 32 und 34 mitzuteilen, wann die Zwischenergebnisse des vorhergehenden Berechnungsmoduls 30, 32 und 34 zur Weiterverarbeitung anstehen.

Des weiteren steuert das Steuermodul 70 den Lernprozeß der neuronalen Struktur, indem es beispielsweise an einem Anforderungseingang 74 externe Anforderungssignale auswertet und entsprechende Steuersignale an das Parameter-Anpaßmodul 60 weitergibt. Auch das Umschalten zwischen verschiedenen Sätzen von Konfigurationsparametern wird vom Steuermodul 70 veranlaßt, indem die externen Anforderungs-

signale ausgewertet und Steuersignale an die Parameterspeicher 50, 52 und 54 ausgegeben werden. Dem Steuermodul 70 ist ein Arbeitsspeicher 72 zugeordnet, in welchem Zwischenergebnisse und Konfigurationsinformationen abgelegt werden.

Die Realisierung der Berechnungsmodule 30, 32 und 34 sowie der sonstigen Bauteile der Berechnungseinrichtung 20 in digitaler Schaltungstechnik ergibt sich in bekannter Weise aus der Beschreibung der entsprechenden Teilfunktionen. Sie kann durch Schaltnetze, Schaltwerke oder eine Kombination aus beiden geschehen. Ihre genaue Funktion kann durch Konfigurationsinformationen festgelegt werden.

Fig. 8 zeigt eine Ausführungsvariante der Berechnungseinrichtung 20. Alle in Fig. 7 gezeigten Speichereinheiten 40, 42, 44, 50, 52, 54, 62 und 72 sind hier in dem einzigen Speicher 18 zusammengefaßt. Dies erlaubt eine rationellere Verwendung des Speicherplatzes, da er beliebig partitioniert und den einzelnen Modulen der Berechnungseinrichtung 20 nach Bedarf zugeordnet werden kann. Auch müssen so Informationen, welche von verschiedenen Modulen benötigt werden, nur einmal im Speicher 18 abgelegt werden.

Fig. 9 zeigt eine weitere Ausführungsvariante der Berechnungseinrichtung 20. Hier sind alle Berechnungsmodule 30, 32 und 34 zu einem einzigen Berechnungsmodul 30' zusammengefaßt. Wird dieses Berechnungsmodul 30' zusätzlich möglichst weitgehend als programmierbares Operationswerk ausgelegt, so kann seine Rechenleistung beliebig partitioniert und den einzelnen Teilfunktionen zugeordnet werden. Dies gewährleistet einen optimalen Datendurchsatz durch das Gesamtsystem.

Ein in einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Hörgerätes eingesetzter Algorithmus zum Trainieren der von der Berechnungseinrichtung 20 modellierten neuronalen Struktur ist in Fig. 10 als Flußdiagramm dargestellt. Der Algorithmus arbeitet durch optimierendes Anpassen der Konfigurationsparameter (im wesentlichen der Gewichtungsfaktoren  $g_i$  der Eingangssignale der Neuronen  $N$ ) an die zu verarbeitenden Signale.

Hierzu werden Sätze von Trainingseingangsdaten an die neuronale Struktur angelegt und die erzeugten Ausgangsdaten der Struktur jeweils mit den erwünschten idealen Ausgangsdaten (auch als Zielantworten bezeichnet) verglichen. Aus der Abweichung dieser beiden Datensätze werden bei jedem Schritt Informationen darüber gewonnen, wie die Gewichtungsfaktoren  $g_i$  zu modifizieren sind. Am Ende der Trainingsphase hat die neuronale Struktur dann das erwünschte Verhalten "erlernt", d.h., die erzeugten Ausgangsdaten sind den Zielantworten hinreichend ähnlich. Wenn das Training des Hörgerätes während des laufenden Betriebs stattfindet, können die Trainingsdaten dem Eingabesignal 24 entsprechen, und die Zielantworten können, wie bereits geschildert, vom Hörgerätebenutzer eingegeben werden.

9

EP 0 814 636 A1

10

Die im folgenden verwendeten Bezeichnungen gehen aus Fig. 6 hervor. Es bedeuten:

- $x_i^k$ : Das Ausgangssignal des i-ten Neurons der k-ten Schicht.  
 $g_{ij}^k$ : Den Gewichtungsfaktor zwischen dem Ausgangssignal des i-ten Neurons der k-ten Schicht und dem j-ten Neuron der (k+1)-ten Schicht.  
 $w_i^k$ : Die Ausgangsfunktion des i-ten Neurons der (k+1)-ten Schicht.

Für die Aktivierungsfunktionen V gilt in diesem Beispiel für alle Neuronen  $v(t) = u(t)$ . Für das Training der Struktur werden Sätze von Trainingsdaten benötigt, die jeweils aus den Eingangssignalen aller Eingangsneuronen und den zugehörigen erwünschten Ausgangssignalen der Ausgangsneuronen bestehen.

Das Training geschieht nach folgender, in Fig. 10 dargestellter Vorschrift:

1) Besetze (Schritt 100) alle Gewichtungsfaktoren mit Zufallswerten.

2) Lege (Schritt 106) die Eingangsdaten des nächsten (Schritt 104) Trainingsdatensatzes an die Struktur an und berechne (Schritt 108) alle Signale, insbesondere alle Ausgangssignale, der ganzen Struktur.

3) Berechne (Schritt 110) den Fehler am Ausgang der neuronalen Struktur durch Vergleich der berechneten Ausgangssignale mit den zum aktuellen Trainingsdatensatz gehörenden erwünschten Ausgangsdaten.

4) Ist der Fehler noch zu groß (Test 112, Pfad 114), dann berechne (Schritt 116) den Fehler am Ausgang eines jeden Neurons N in der gesamten Struktur und

5) modifiziere (Schritt 118) die Gewichtungsfaktoren aller Neuronen N und gehe (Pfad 120) zur Bearbeitung der restlichen Trainingsdatensätze zu 2), wobei vermerkt wird (Schritt 119), daß ein weiterer Trainingsdurchlauf erforderlich ist.

6) Ist in 4) der Fehler klein genug (Test 112, Pfad 120), dann überprüfe (Test 102), ob dies für alle Trainingsdatensätze gilt.

7) Wenn 6) noch nicht für alle Trainingsdatensätze gilt (Pfad 122), dann gehe zu 2), ansonsten (Pfad 124) wird entweder ein weiterer Trainingsdurchlauf gestartet (Test 126, Pfad 128) oder der Trainingsprozeß ist abgeschlossen (Test 126, Pfad 130, Schritt 132).

Das in Fig. 10 gezeigte Flußdiagramm verdeutlicht eine Implementierungsmöglichkeit der gerade beschriebenen Trainingsvorschrift, bei der der Programmfluß mit einer booleschen Variablen E und einem als Index für die Trainingsdatensätze dienenden Zähler P gesteuert wird. Die Größe  $P_{\max}$  steht für die Anzahl der vorgegebenen Trainingsdatensätze. Der logische Ablauf dieser Trainingsvorschrift kann auch anders, beispielsweise mit Mitteln der strukturierten Programmierung, implementiert werden.

Für die im Lernalgorithmus in den Abschnitten 2), 3) und 4) angegebenen Funktionen werden für die in Fig. 6 gezeigte Netzstruktur bevorzugt die im folgenden beschriebenen Berechnungsvorschriften verwendet:

Abschnitt 2) - Berechnung (Schritt 108) aller Signale in der neuronalen Struktur:

Gemäß der in Fig. 6 gezeigten Netzstruktur und dem Aufbau des einzelnen Neurons N nach Fig. 2 werden, beginnend bei der Eingangsschicht, die Ausgangssignale eines jeden Neurons N in der ganzen Struktur berechnet.

Abschnitt 3) - Berechnung (Schritt 110) des Fehlers am Ausgang der neuronalen Struktur:

Der Fehler am Ausgang der gesamten neuronalen Struktur kann berechnet werden zu:

$$E = \sum_j (e^3_j)^2 = \sum_j (d^3_j - x^3_j)^2$$

Hierbei bedeuten:

- $e^3_j$ : Der Fehler am Ausgang des j-ten Neurons N der dritten Schicht (in diesem Fall also der Ausgangsschicht).  
 $d^3_j$ : Der laut Trainingsdatensatz am Ausgang des j-ten Neurons N der dritten Schicht (in diesem Fall also der Ausgangsschicht) zu erwartende Wert.  
 $x^3_j$ : Der für den Ausgang des j-ten Neurons N der dritten Schicht (in diesem Fall also der Ausgangsschicht) berechnete Wert.

Es wird also für alle Neuronen N der Ausgangsschicht das Quadrat der Differenz zwischen erwartetem und berechnetem Wert ermittelt. Die Summe dieser Fehlerquadrate ergibt ein Größenmaß für den Trainingsgrad ("Konvergenzgrad") der neuronalen Struktur.

Abschnitt 4) - Berechnung (Schritt 116) aller Einzel-

11

EP 0 814 636 A1

12

fehler in der neuronalen Struktur:

Für die Modifikation der Gewichtungsfaktoren ist es nötig, ein Fehlermaß für jedes einzelne Neuron N in der Struktur aus dem am Ausgang ermittelten Gesamtfehler zu bestimmen. Dies geschieht durch Zurückrechnen des Ausgangsfehlers durch die gesamte Struktur hindurch bis zur Eingangsschicht nach folgender Vorschrift:

$$e^k_j = \left( \sum_i (e^{k-1}_i * g^{k-1}_{ij}) \right) * w^{k-1}_{ji} (u^{k-1}_i)$$

Hierbei bedeuten:

$e^k_i$ : Der Fehler am Ausgang des i-ten Neurons N der k-ten Schicht.  
 $g^{k-1}_{ij}$ : Der Gewichtungsfaktor der Verbindung zwischen dem i-ten Neuron N der (k-1)-ten Schicht und dem j-ten Neuron der k-ten Schicht.  
 $w^{k-1}_{ji}(u^{k-1}_i)$ : Der Wert der Ausgangsfunktion W des i-ten Neurons N der k-ten Schicht an der Stelle  $u^{k-1}_i$ .  
 $u^{k-1}_i$ : Der Wert der Propagierungsfunktion U des i-ten Neurons N der k-ten Schicht.  
 Er berechnet sich zu:

$$u^{k-1}_i = \sum_j (x^{k-1}_j * g^{k-1}_{ij})$$

#### Patentansprüche

1. Hörgerät mit einer Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10), die einerseits mit einem Eingangswandler (12) verbunden ist und andererseits einem Ausgangswandler (14) ein Ausgabesignal (28) zuführt, sowie mit einer nach dem Prinzip einer neuronalen Struktur arbeitenden Berechnungseinrichtung (20), die auf ein an der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) abgegriffenes Abgriffssignal (22) anspricht und ein Ergebnissignal (26) liefert, das der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) zugeführt wird und deren Ausgabesignal (28) beeinflusst, **dadurch gekennzeichnet**, daß zumindest die Berechnungseinrichtung (20) in digitaler Schaltungstechnik ausgeführt ist.

2. Hörgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) einen Signalpfad zwischen dem Eingangswandler (12) und dem Ausgangswandler (14) aufweist, dessen Verstärkungs- und Übertragungscharakteristik durch das Ergebnissignal (26) der Berechnungseinrichtung (20) beeinflussbar ist.

3. Hörgerät nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) einen Speicher aufweist, in dem mehrere Sätze von Verstärkungs- und Übertragungsparametern abgelegt sind, und daß das Ergebnissignal (26) der Berechnungseinrichtung (20) zum Auswählen eines dieser Parametersätze dient.

4. Hörgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Signalpfad des Hörgerätes von dem Eingangswandler (12) über einen ersten Teil der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10), die Berechnungseinrichtung (20) und einen zweiten Teil der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) zu dem Ausgangswandler (14) verläuft.

5. Hörgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Signalaufbereitungseinrichtung (16) vorgesehen ist, die das von der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) abgegriffene Abgriffssignal (22) aufbereitet und als ein Eingabesignal (24) der Berechnungseinrichtung (20) zuführt.

6. Hörgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) einen Analog-Digital-Wandler und einen Digital-Analog-Wandler aufweist, und daß die restlichen Baugruppen der Verstärker- und Übertragungseinrichtung (10) und, wenn vorhanden, die Signalaufbereitungseinrichtung (16) vollständig in digitaler Schaltungstechnik ausgeführt sind.

7. Hörgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Berechnungseinrichtung (20) ein Steuermodul (60), mindestens einen Speicher (18; 40, 42, 44, 50, 52, 54, 62, 72) und mindestens ein Berechnungsmodul (30; 32, 34; 30') aufweist.

8. Hörgerät nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß in der Berechnungseinrichtung (20) ein eigenes Berechnungsmodul (30, 32, 34; 30') und/oder ein eigener Parameterspeicher (50, 52, 54) für jedes Neuron oder jede Schicht von Neuronen in der von der

13

EP 0 814 636 A1

14

Berechnungseinrichtung (20) nachgebildeten neuronalen Struktur vorgesehen ist.

9. Hörgerät nach Anspruch 7 oder 8,  
dadurch gekennzeichnet, daß in der Berechnungseinrichtung (20) mindestens ein Zwischenspeicher (40, 42) für die Verbindung zwischen Neuronen aufeinanderfolgender Schichten und/oder mindestens ein Rückkopplungs-Zwischenspeicher (44) für die rückkoppelnde Verbindung zwischen Neuronen in der von der Berechnungseinrichtung (20) nachgebildeten neuronalen Struktur vorgesehen ist. 5 10
10. Hörgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnungseinrichtung (20) ein Parameter-Anpaßmodul (70) zum Training der von der Berechnungseinrichtung (20) nachgebildeten neuronalen Struktur aufweist. 15 20
11. Hörgerät nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet, daß das Parameter-Anpaßmodul (70) dazu eingerichtet ist, Parameter der Berechnungseinrichtung (20), insbesondere Gewichtungsfaktoren (g), optimierend anzupassen, um das Ergebnissignal (26) der Berechnungseinrichtung (20) für ein gegebenes Eingabesignal (24) einer gewünschten Zielantwort anzunähern. 25 30
12. Hörgerät nach Anspruch 10 oder 11,  
dadurch gekennzeichnet, daß das Parameter-Anpaßmodul (70) dazu eingerichtet ist, die von der Berechnungseinrichtung (20) nachgebildete neuronale Struktur mit den Schritten 35 40
  - Anlegen (106) eines Trainingsdatensatzes an die Struktur,
  - Berechnen (108) zumindest aller Ausgangssignale der Struktur,
  - Berechnen (110) des Fehlers am Ausgang der Struktur, und 40
  - falls der Fehler eine vorgegebene Grenze übersteigt, Berechnen (116) der Fehler in der ganzen Struktur und Modifizieren (118) aller Gewichtungsfaktoren 45
 zu trainieren.
13. Hörgerät nach einem der Ansprüche 10 bis 12,  
gekennzeichnet durch eine Zusatzeinrichtung, die dazu eingerichtet ist, während einer Optimierungsphase gewünschte Zielantworten zum Training der neuronalen Struktur auf der Basis von Daten zu ermitteln, die angeben, welche von ihm als optimal empfundene Zielantwort ein Hörgerätebenutzer bei jeder auftretenden Hörsituation aus mehreren für diese Hörsituation vorgegebenen möglichen Zielantworten ausgewählt hat. 50 55



EP 0 814 636 A1

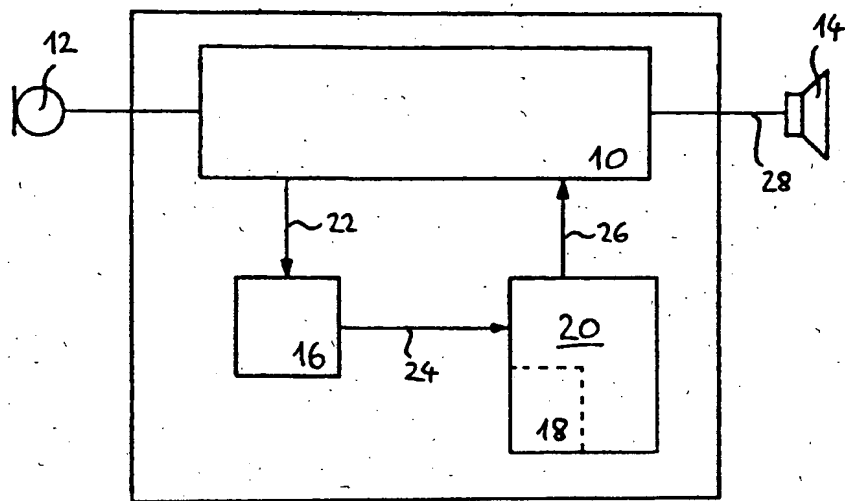


Fig. 1

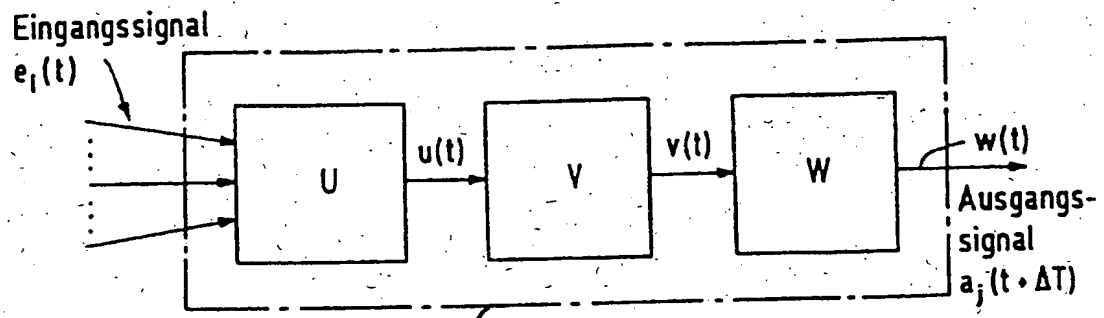
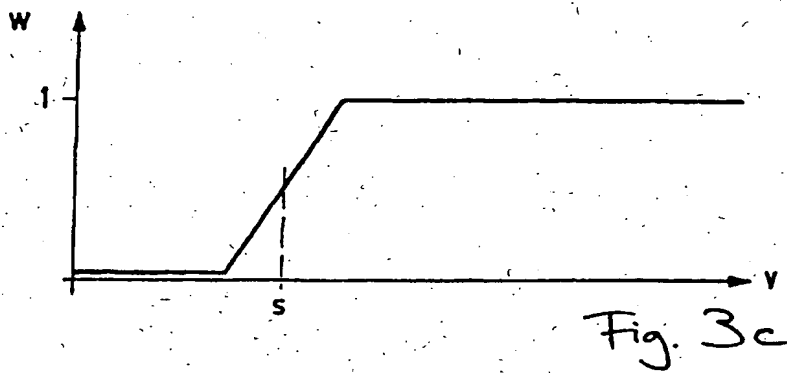
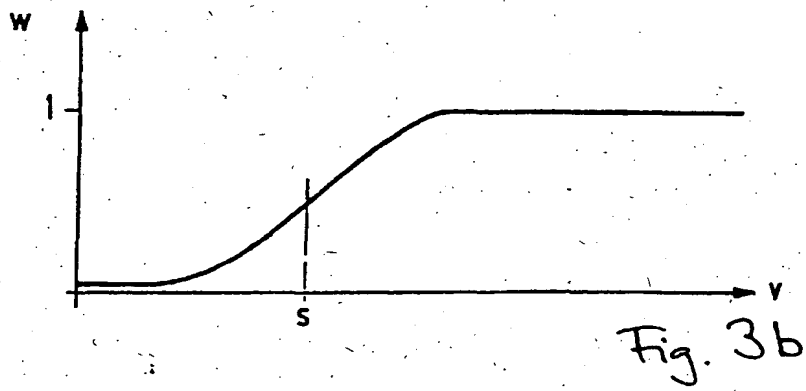
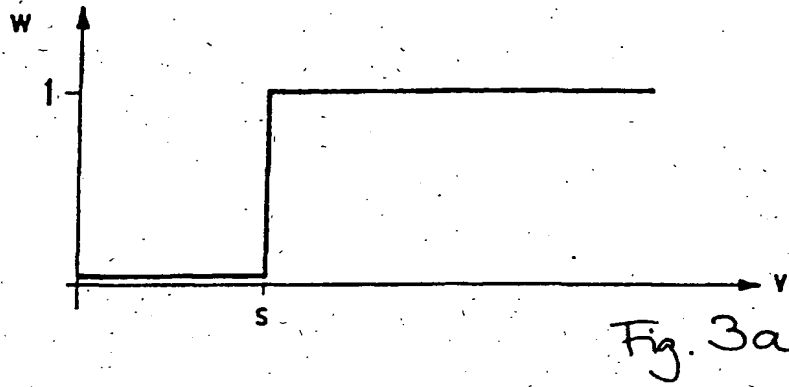
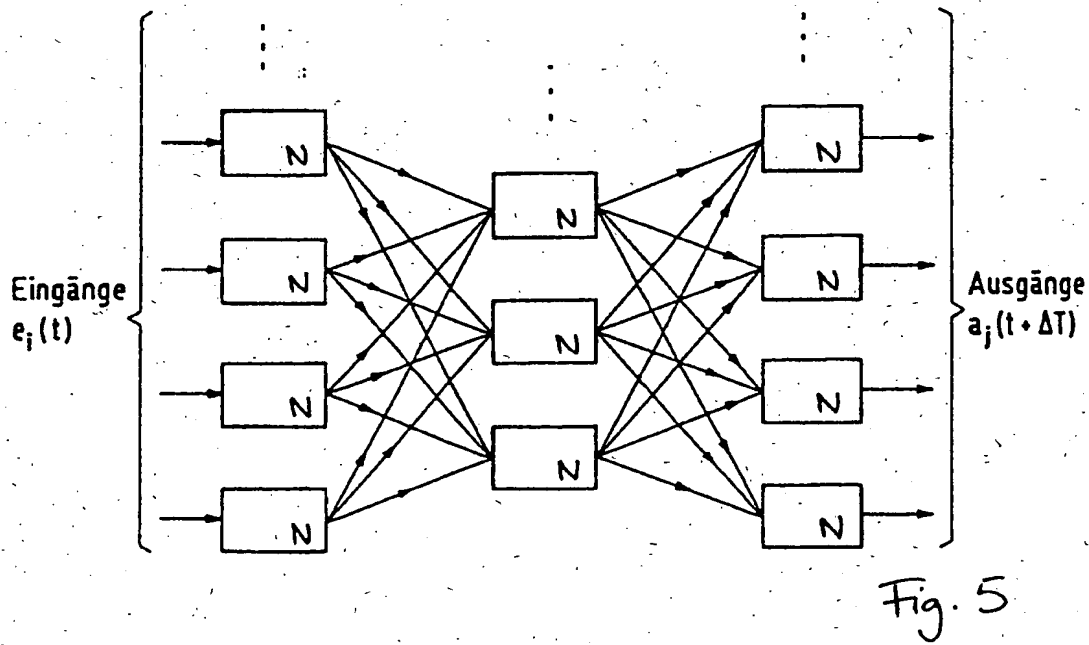
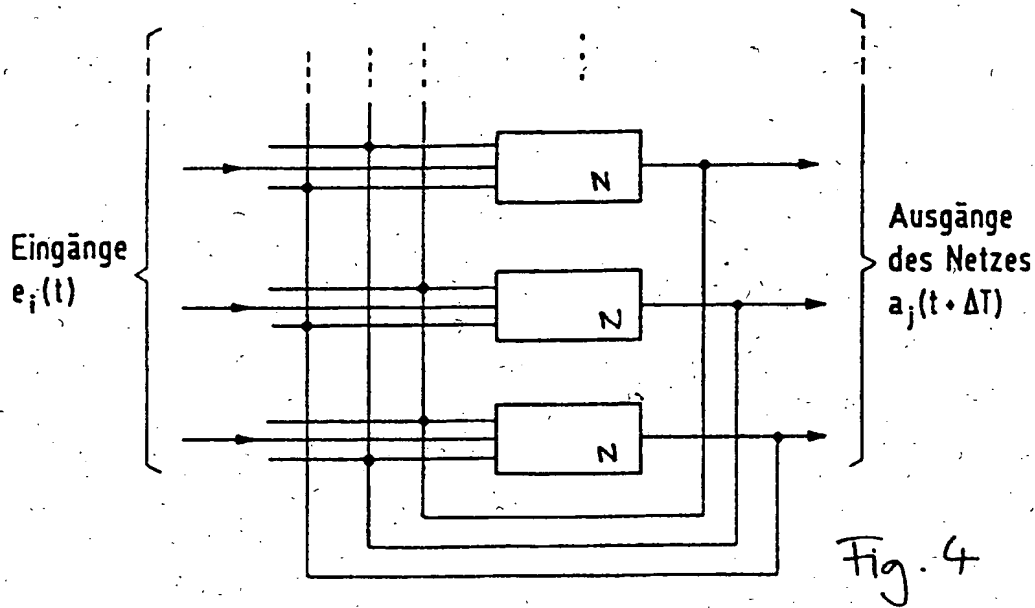


Fig. 2

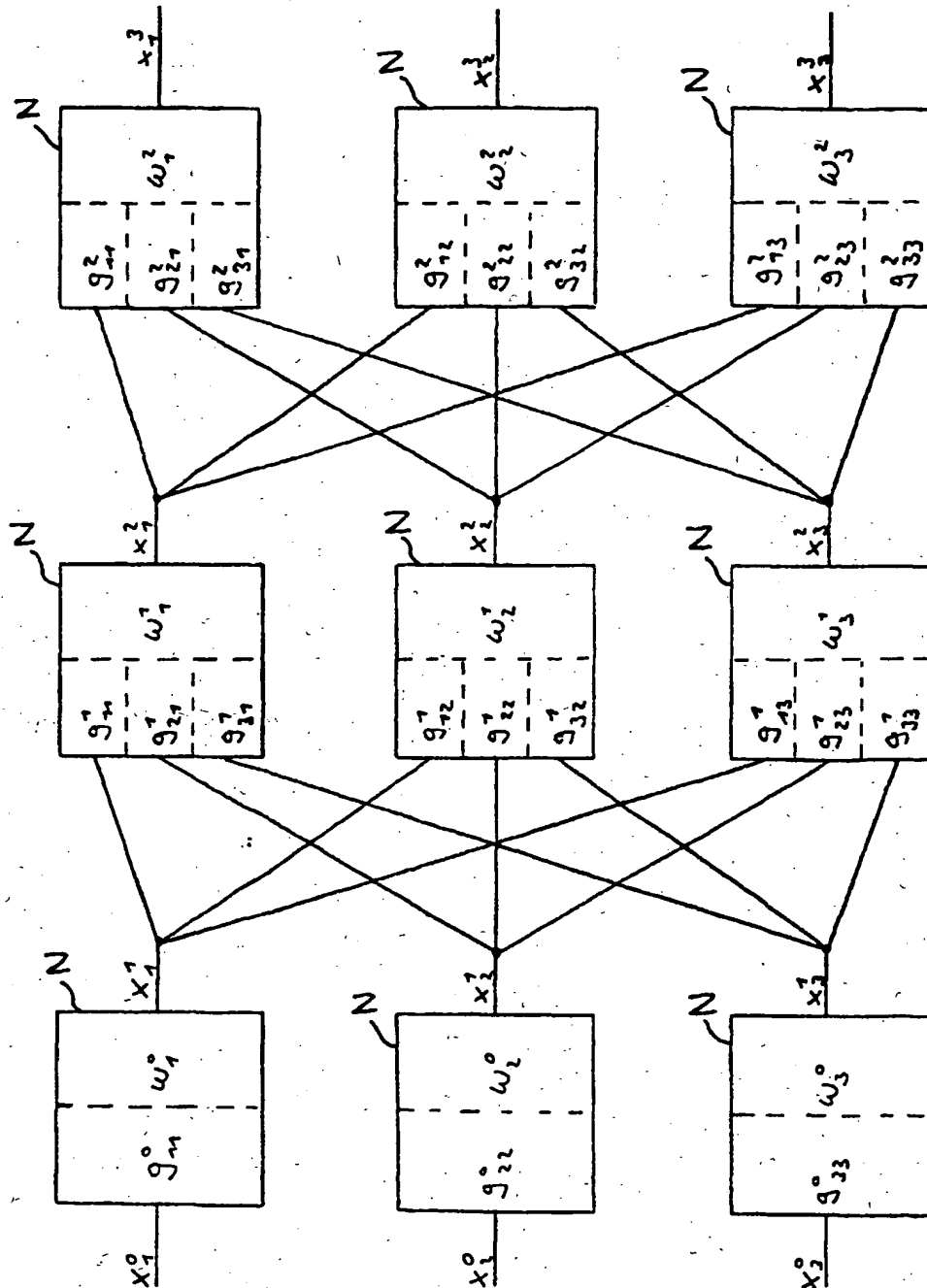
EP 0 814 636 A1



EP 0 814 636 A1



EP 0 814 636 A1



EP 0 814 636 A1

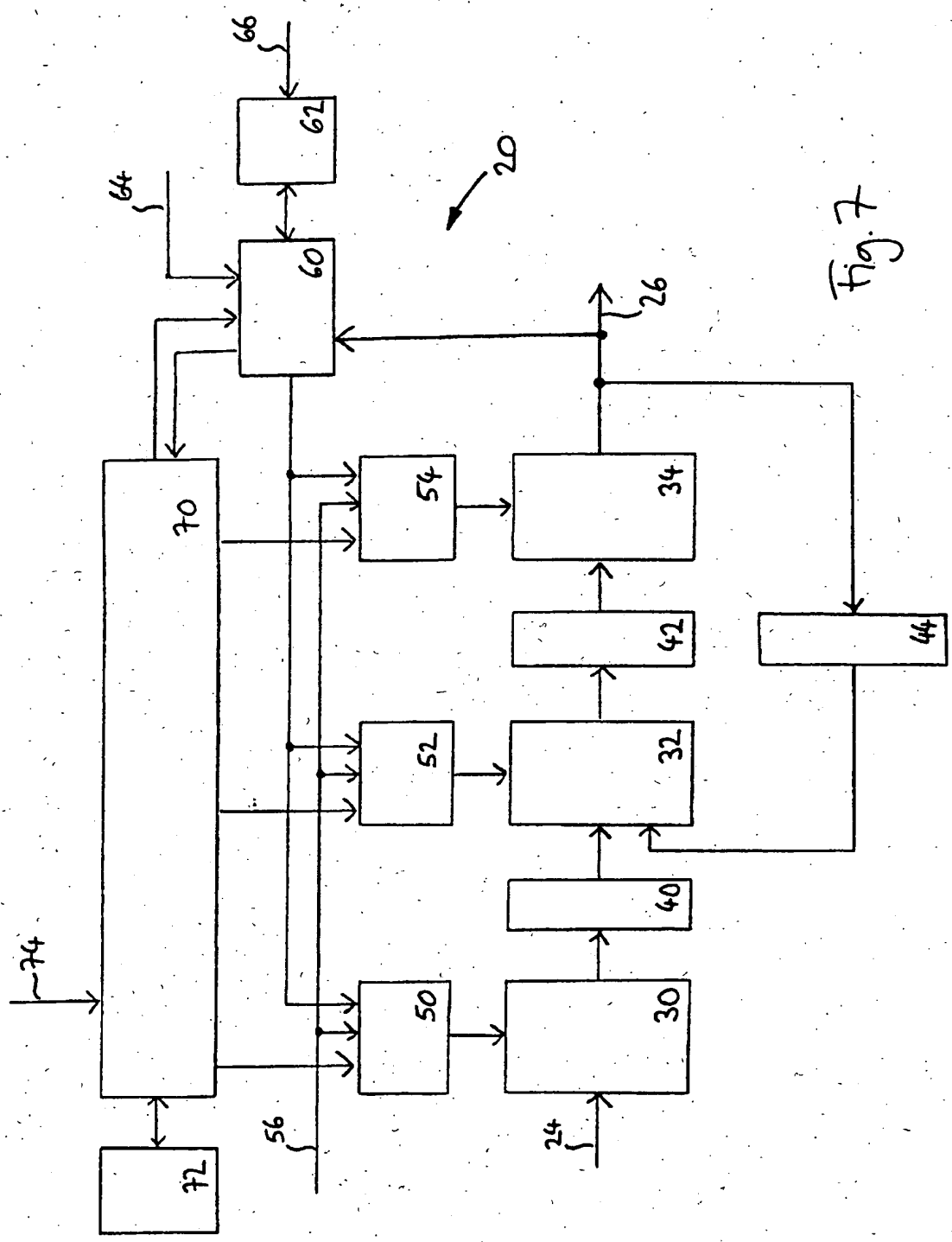


Fig. 7

EP 0 814 636 A1

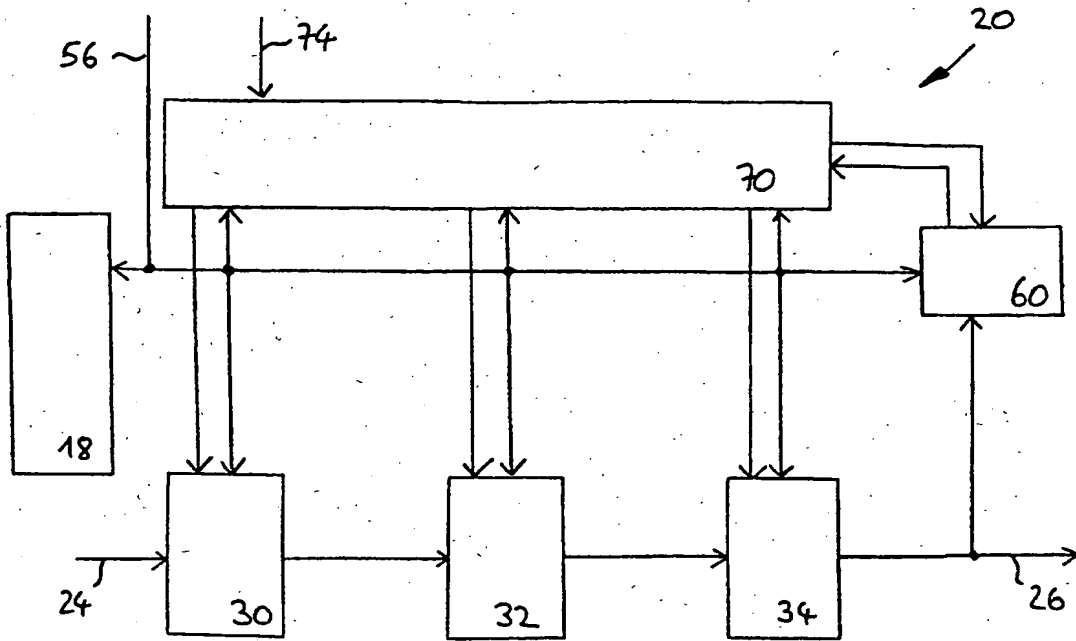


Fig. 8

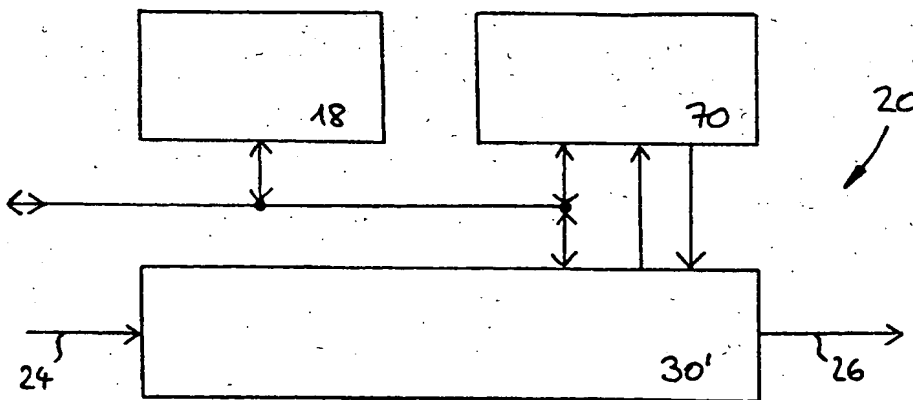


Fig. 9

EP 0 814 636 A1

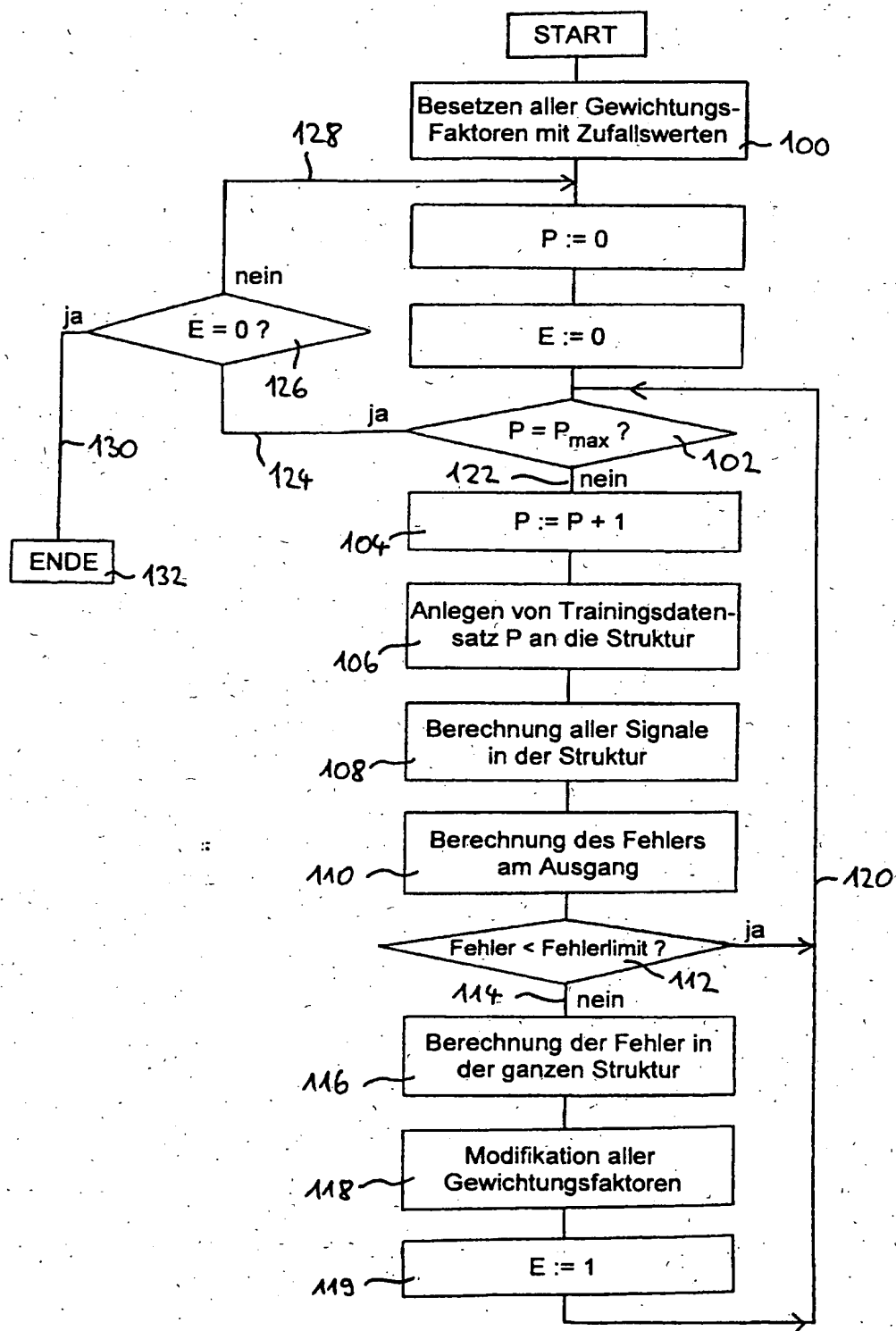


Fig. 10

EP 0 814 636 A1

Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 96 11 0069

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
D,Y A	EP-A-0 712 263 (SIEMENS) * Spalte 1, Zeile 3-7 * * Spalte 1, Zeile 53 - Spalte 2, Zeile 25 * * Spalte 3, Zeile 15 - Spalte 7, Zeile 13 *	1-5,7,8 9-13	H04R25/00
Y A	EP-A-0 664 516 (NT&T) * Seite 2, Zeile 5-7 * * Seite 6, Zeile 55 - Seite 7, Zeile 14 * * Seite 9, Zeile 10-25 * * Seite 15, Zeile 18 - Seite 18, Zeile 40 *	1-5,7,8 9-12	
Y A	EP-A-0 533 193 (MATSUSHITA) * Spalte 12, Zeile 33 - Spalte 23, Zeile 5 *	1-5 7-12	
Y A	EP-A-0 514 986 (PHILIPS) * Spalte 2, Zeile 14-29 * * Spalte 2, Zeile 56 - Spalte 3, Zeile 14 * * Spalte 3, Zeile 43 - Spalte 4, Zeile 41 * * Spalte 6, Zeile 36 - Spalte 12, Zeile 33 *	1-5 7-13	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6) H04R G06F
A	DE-A-42 27 826 (HITACHI) * Spalte 4, Zeile 46 - Spalte 7, Zeile 20 *	1,3,6	
A	EP-A-0 578 021 (SIEMENS) * Spalte 3, Zeile 25-45 *	1,6	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenamt	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	12. Dezember 1996	Zanti, P	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X: von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y: von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A: technologischer Hintergrund O: mündliche Offenbarung P: Zwischenliteratur T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D: in der Anmeldung angeführtes Dokument L: aus andern Gründen angeführtes Dokument A: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 150 (01/92) (P0400)